



LORS D'HIVERS TRÈS FROIDS

au XVII^e siècle, les fleuves gelaient, telle la Tamise en 1677, ici peinte à l'époque par Abraham de Hondt. Enfin, les savants pouvaient étudier le gel de l'eau mouvante.

L'eau qui gèle, une énigme au temps des Lumières

Frédérique Rémy

Aux XVII^e et XVIII^e siècles, de nombreux savants ont tenté de comprendre comment la glace se forme dans l'eau, les fleuves et la mer. Ils se sont longtemps empêtrés, en partie à cause d'un vocabulaire inapproprié.



Souvent en science, le vocabulaire s'enrichit au fil des découvertes. Ainsi sont apparus peu à peu au XX^e siècle les termes « génétique », puis « gène » et enfin « génome » à mesure que les connaissances sur l'hérédité progressaient. Toutefois, dans certains domaines, par exemple liés à des phénomènes communs, il arrive qu'un vocabulaire pré-existe aux études scientifiques et les perturbe. Le gel de l'eau est un cas emblématique de cette situation.

Comment l'eau gèle-t-elle ? Pourquoi gonfle-t-elle en gelant ? Pourquoi, parfois, l'eau ne gèle-t-elle pas, même par grand froid ? Comment les fleuves gèlent-ils ? Et la mer ? Aux XVII^e et XVIII^e siècles, nombre de savants se penchaient sur ces questions. Toutefois, malgré l'aspect très banal du problème étudié, la théorie a été longue à progresser. Il est vrai que le problème est complexe. L'histoire de cette quête est semée d'embûches ou de freins et de mauvaises intuitions évidentes. L'un de ces freins était sans doute le vocabulaire employé. Le choix des mots était souvent trop diversifié, englobant des notions différentes que les savants essayaient de comprendre ensemble, ou trop général – pas assez précis

L'ESSENTIEL

■ Difficile de comprendre un phénomène quand le vocabulaire qui le décrit prête à confusion.

■ En voulant expliquer en même temps le gel de l'eau, la coagulation et la fermentation, les savants des XVII^e et XVIII^e siècles se sont fourvoyés.

■ Un terme négligé, bouzin, aurait facilité leur compréhension du gel des fleuves.

■ Et parce qu'un seul mot, glaçon, décrivait toutes sortes de glace vues en mer, ils ont cru qu'elles n'avaient qu'une origine.

Double page précédente : © Heritage Images Corbis

pour que l'on raisonne et distingue les différents mécanismes sous-jacents. Ou, tout simplement, le vocabulaire était absent.

Dès 1669, l'Académie des sciences s'attache à comprendre le gel de l'eau. « Il n'appartient pas à tout le monde d'être étonné que le lait se caille. Ce n'est point une expérience curieuse et connue de peu de gens. C'est une chose si ordinaire qu'elle en est presque méprisante » affirme-t-elle. Elle ajoute cependant qu'un philosophe peut y trouver beaucoup de matière à réflexion et qu'il n'est pas indigne de se pencher sur le gel de l'eau, mais aussi du sang, tant veineux qu'artériel, de la sève, de « l'eau trouvée dans le péricarde d'un cheval », de la graisse, du lait...

De cet inventaire à la Prévert, l'Académie demande d'embrasser et de comprendre simultanément les phénomènes de durcissement, congélation, coagulation, solidification, voire fermentation. Dans son ouvrage *La Formation de l'esprit scientifique* (1938), le philosophe Gaston Bachelard donnera cet exemple pour illustrer un des obstacles épistémologiques à la progression des idées : la généralité. De fait, cette généralisation hâtive fait perdre de vue

Des glaçons bien équivoques

Jusqu'au XIX^e siècle, un unique mot – glaçon – désignait toutes les sortes de glace : glace de mer, glace de rivières ou icebergs provenant de glaciers. Le marin n'avait qu'un mot pour décrire ce qu'il avait vu. Ainsi, à la fin du XVI^e siècle, l'explorateur néerlandais Wilhem Barentz parle de glaçons qui « flottaient aussi haut que les montagnes à sel que l'on voit en Espagne ».

À l'évidence, il décrit des icebergs provenant de glaciers continentaux. Puis, quelques lignes plus loin, il relate que la vitesse et la force du vent séparent les glaces en de gros glaçons. Ici, il s'agit manifestement de glace de mer.

Au milieu du XVIII^e siècle, le marin français Jean-Baptiste Bouvet de Lozier (1706-1787), à la recherche du continent austral, raconte avoir vu des glaçons... preuve rassurante de la présence d'une terre. Il s'agit vraisemblablement là aussi de glace de mer. À la même

époque, le poète jésuite Joseph de La Porte décrit la chute d'un glaçon du plus haut de la montagne, qui se détache, tombe et bondit avec éclat sur d'autres glaçons qu'il entraîne avec lui – il a probablement été témoin d'une avalanche.

En 1774, dans son *Traité de météorologie*, l'abbé Louis Cotte explique que les glaçons, infiniment petits, s'unissant mal entre eux, ne peuvent composer que des flocons fort légers. Il décrit sans doute ici la formation de la neige. Et le *Nouveau dictionnaire universel des arts et*

des sciences publié en 1756 définit le givre comme une « sorte de gelée blanche, qui s'attache aux arbres et y fait quelquefois des glaçons » (voir ci-dessous)...

C'est ainsi que les naturalistes dans leur cabinet n'ont qu'un seul et unique écho de toutes les formes de glace terrestre rencontrées.

GELER. *v. act. & n. lat. Congelare, gelu concrefcere. angl. to freeze.* Glacer, causer un grand froid qui enduret les choses liquides.

GIVRE. *f. f. lat. Pruina. angl. hoar, frost or rime.* Sorte de gelée blanche, qui s'attache aux arbres & y fait quelquefois des glaçons. Dans le *blason*, serpent à queue ondée ou tortillée.

GLACE. *f. f. lat. Glacies. angl. ice.* Liqueur fixée par le froid et qui a perdu son mouvement. *Glace* de miroir est une surface unie & polie, soit de verre, de cristal, ou de métal qui réfléchit la lumière. On appelle aussi *glace* un brocard tiffu d'or ou d'argent glacé ; un blanc d'œuf & de sucre batus ensemble qu'on coule sur le biscuit ou sur des fruits.

GLAÇON. *f. m. lat. Congelatum frustum. angl. a piece of ice.* Morceau de glace.

les spécificités de tous ces phénomènes complexes et de natures différentes.

Une vingtaine d'articles publiés dans les premiers tomes des *Mémoires et comptes rendus de l'Académie*, couvrant la fin du XVII^e siècle, relatent de très nombreuses expériences sur les « liqueurs » les plus variées – eau, lait, sang, fiel, graisse, sève... L'objectif est de trouver le mécanisme qui explique toute forme de durcissement. À l'époque, la seule solution pour étudier le gel est d'effectuer les expériences durant les nuits les plus froides de certains hivers, tels ceux, particulièrement rigoureux, de 1670, 1682 et 1684. De notoriété publique, les sous-sols de l'Observatoire de Paris sont extrêmement froids et la majorité des expériences y sont effectuées. La plus célèbre reste celle de Christian Huygens.

L'eau, c'est comme la bière

Un soir d'hiver en 1667, le physicien néerlandais remplit d'eau le canon d'un pistolet, le bouche hermétiquement et l'expose au froid... Au matin, le canon avait explosé. L'Académie note avec raison que « quelle que soit la cause d'un effet si violent, elle n'y paraît guère proportionnée ». L'année suivante, le mathématicien Jacques Buot refait l'expérience avec d'autres liquides, notamment de l'huile, et le canon n'explose pas. On en conclut à tort, mais durablement, que ce sont les bulles d'air contenues dans l'eau qui provoquent le surprenant effet.

Des décennies durant, les savants feront bouillir de l'eau pour la purger et constater, ou non, qu'elle gèle plus vite ou qu'elle gonfle moins en gelant. La présence ou non de bulles d'air permet le lien avec la fermentation et on peut encore lire dans l'édition de 1750 de la *Relation du monde de Mercure* du chevalier de Béthune, un officier de la Marine, une singulière comparaison entre la bière et l'eau. Si la bière fermente, explique l'auteur, c'est parce qu'elle contient des bulles d'air et que l'air circule. Il ajoute que c'est ainsi que l'eau purgée de son air se glace sans étendre sa masse, parce qu'elle ne fermente point. Elle se durcit et ne laisse pas voir les bulles habituelles qui causent son extension.

D'autres, tel l'académicien Jacques Dortous de Mairan, cherchent, en vain, un unique mécanisme pour expliquer le gel de l'eau et le durcissement du jaune d'œuf cuit. Il faudra attendre le XX^e siècle pour comprendre le rôle de la liaison hydrogène dans le gel

de l'eau (avec le froid, les molécules d'eau s'interconnectent par de telles liaisons). Et encore, connaissons-nous vraiment tous les mystères de cette liaison aujourd'hui ?

Un vocabulaire trop foisonnant a donc contribué à ralentir la compréhension du gel de l'eau en orientant les savants vers de mauvaises hypothèses. Dans le cas du gel des fleuves ou de la mer, en revanche, c'est plutôt le manque de mots clairs et appropriés qui semble avoir été un lourd handicap.

Déjà, comment de l'eau en mouvement peut-elle geler ? En particulier, comment les fleuves gèlent-ils ? La glace se forme-t-elle par le haut, comme le suggère la raison, ou par le bas, comme le prétendent les marinières et bateliers qui affirment voir chaque hiver des corbeilles à anguilles remonter en surface ? La controverse commence en 1580, année où le céramiste et savant Bernard Palissy pense que les fleuves gèlent par la surface – sinon, que deviendraient les poissons ? – et s'achève en 1828, année où François Arago démontre que les fleuves commencent à geler près des aspérités de leur lit. Pendant près de trois siècles, académiciens et gens du fleuve se sont opposés. Pourtant, un mot, éphémère comme tant d'autres – le « bouzin » –, renfermait à lui seul la description et la compréhension

■ L'AUTEUR



Frédérique RÉMY, directrice de recherche au CNRS, est responsable de l'équipe

« cryosphère » à l'observatoire Midi-Pyrénées, à Toulouse.

Un bouzin éphémère

Un des arguments des marinières, meuniers ou bateliers pour affirmer que les fleuves gèlent par le bas est que la partie inférieure de la glace trouvée en surface est un mélange spongieux de glace et de sable, preuve que la glace se forme au fond du lit et remonte en surface.

L'abbé Nollet, physicien du XVIII^e siècle (*ci-contre*), se moque de ceux qui « soutiennent opiniâtrement que la glace se forme par le fond » et dénomme bouzin ce curieux mélange.

Dans le *Nouveau dictionnaire universel des arts et des sciences* de 1756, le bouzin, bousin ou boursin est une croûte de terre mélangée à de la pierre friable. Par exemple, il faut ébouziner les pierres avant de les tailler. Pour l'abbé, il suffit

donc de démontrer que le bouzin ne vient pas du bas du fleuve mais de l'amont.



Il attend que la Seine gèle, fait placer un tonneau au milieu du fleuve, laisse la glace l'emprisonner peu à peu et surveille... Le bouzin ne vient pas. C'est bien qu'il ne remonte pas du fond !

En 1819, quatre colonnes sont encore consacrées au bouzin et aux travaux de Nollet dans le tome III de l'*Encyclopédie méthodique* du mathématicien Gaspard Monge, lorsque le thème du gel des fleuves est abordé au sein de l'article « glace ». Mais le mot disparaît ensuite très vite et ne semble pas connu des autres physiciens. Pourtant, ce qu'il désignait constituait bien une preuve que les gens du fleuve disaient la vérité...



LORS DES EXPLORATIONS POLAIRES, les marins traversaient toutes sortes de paysages glacés, telle cette couche de glace sur une mer d'huile où l'expédition de l'amiral britannique William Parry se fraye un passage en 1821, avec des icebergs et des calottes glaciaires au loin. À l'époque, cependant, on pensait que toutes ces sortes de glace n'avaient qu'une seule origine.

© Stapleton Collection/Corbis

■ BIBLIOGRAPHIE

C. Le Lay et F. Rémy, Mairan, *le traité de la glace, 1747*, *Revue d'Histoire des Sciences*, sous presse.

A. Metzger et F. Rémy (dir.), *Neiges et glaces. Faire l'expérience du froid (XVII^e-XIX^e siècles)*, Hermann, 2015.

F. Rémy, *Histoire des pôles : Mythes et réalités polaires, XVII^e-XVIII^e siècles*, Desjonquères, 2009.

du phénomène (voir l'encadré page 71). Sa disparition et, avec elle, celle de la version des gens du fleuve, a retardé l'explication.

Plus délicat : comment la mer, salée et en perpétuel mouvement, peut-elle geler ? L'un des obstacles les plus forts est probablement dans l'usage unique du mot glaçon pour désigner toutes sortes de glace, qu'elle soit issue d'eau douce ou d'eau salée, en provenance des fleuves, de la mer ou des glaciers (voir l'encadré page 70). En conséquence, le savant cherche un unique procédé pour fabriquer toutes sortes de glace flottante.

Les glaçons salés de l'abbé Mann

Pour le naturaliste Georges-Louis Leclerc, comte de Buffon, l'un des premiers savants à s'attacher à ce problème, la mer ne peut pas geler. Les glaçons que rencontrent les marins sont donc charriés par les fleuves. Le froid n'est pas assez vif pour faire geler la mer. Même si l'on accepte l'idée, « contre toute apparence », que le froid au pôle est suffisamment fort pour glacer la mer en surface, les glaçons ne pourraient se former sans appui.

Tous les physiciens de l'époque reprennent les idées du naturaliste, notamment dans divers articles de l'*Encyclopédie* (« glacial », « mer », « géographie

physique »...). Certains admettent que la mer puisse geler, mais près des embouchures des fleuves, là où la salinité est plus faible. Pourtant, de nombreux explorateurs polaires assurent avoir vu se former en pleine mer, loin des côtes, des glaçons d'une étendue considérable. Mais cela reste inconvenable pour les naturalistes, car comment expliquer ainsi l'existence de glaçons de plusieurs dizaines de mètres de haut ? Il faut attendre quelques décennies avant que deux hommes, l'un chez lui, Théodore Mann à la fin du XVIII^e siècle, l'autre en mer, William Scoresby au tout début du XIX^e, démontrent que la mer peut geler.

Le premier, un abbé belge, se fait apporter un tonneau d'eau de mer prélevée à mi-chemin des côtes de la Hollande et de l'Angleterre, au plus loin des embouchures de la Tamise, de la Meuse ou de l'Escaut. Il attend les grandes gelées qui arrivent en janvier 1776. Il expose au gel un

vase rempli d'eau de mer et un autre plein d'eau douce. Cette dernière prend assez vite alors que l'eau salée perd de sa liquidité, mais pas de sa fluidité... En goûtant les glaçons qui se forment ainsi que l'eau restante, il déduit qu'ils sont moins salés. Hélas, le froid ne dure pas assez pour que l'expérience arrive à terme.

Quelques jours plus tard, par un froid plus vif, Mann recommence et observe que des glaçons se forment aussi vite dans les deux vases, mais qu'une couche de glace homogène est plus longue à se former pour l'eau salée. Il constate que la glace de mer est plus légère, moins transparente et moins solide. Il confirme qu'elle reste légèrement salée, conviant même des amis pour leur faire goûter ses glaçons salés.

Scoresby, lui, est le fils d'un pêcheur de baleine ayant fait fortune. Il partage sa jeunesse entre des cours de philosophie naturelle et le baleinier paternel, ce qui fait de lui un explorateur polaire hors pair et un scientifique. À partir de mai 1817, l'Académie des sciences reçoit ses rapports et le marin anglais se lie d'amitié avec l'astronome François Arago, qui le fait nommer membre étranger. Scoresby connaît très bien toutes les sortes de glace et les énumère : *field*, *pancake*, *studge*, *hummock*, *calf*... Le traducteur reprendra ses termes et aucune traduction ne sera jamais proposée.

Scoresby dit avoir vu loin des côtes les progrès de la congélation et décrit l'arrivée des premiers cristaux qui ont pour effet de calmer la mer comme une couche d'huile. Ces cristaux forment des plaques qui s'entrechoquent, se brisent, se ressoudent et, au fur et à mesure, croissent en superficie. Pour lui, rien n'est plus sublime et plus effrayant à la fois. Néanmoins, même s'il distingue la glace d'eau salée, la glace d'eau douce et les montagnes de glace, il n'en perçoit pas pour autant les différentes origines. Il pense que si la glace venant de la mer est moins salée que l'océan, c'est parce qu'il neige par-dessus et que la neige fond au printemps, puis gèle. Pour lui, ce processus saisonnier permet d'atteindre des épaisseurs de glace très importantes. C'est ainsi qu'il explique les montagnes de glace. La confusion entre glace de mer et icebergs, ces blocs de glace provenant d'un glacier, est toujours présente, renforcée par la crédibilité de son hypothèse. Toutefois, nommer les montagnes de glace l'a peut-être aidé à se lancer dans la recherche d'une explication propre du phénomène.

L'explorateur polaire Jean-Baptiste Charcot fut le premier à définir en français, au début du XX^e siècle, non seulement les différentes glaces, mais aussi leurs différents états. Pourtant, de nos jours, la pauvreté et l'ambiguïté du vocabulaire posent toujours problème. Les mots de glaciologie sont souvent mal utilisés et il existe une claire confusion entre glace

Certains admettent que la mer puisse geler, mais près des embouchures des fleuves, là où la salinité est plus faible.

de mer, banquise et calotte... On entend encore souvent que la banquise arctique fond et fait monter le niveau de la mer ou que la calotte arctique fond, ce qui désorientait le grand public. La banquise est la glace de mer qui flotte déjà sur l'océan et ne fait pas varier le niveau de la mer en fondant; une calotte est un gros glacier qui, en effet, joue sur le niveau de la mer en fondant. Mais il n'existe pas de

calotte arctique à proprement parler. La principale calotte dans la région est celle du Groenland.

Les scientifiques se sont affranchis de la pauvreté du vocabulaire en utilisant les mots anglais, tel *multi year ice* – la glace de mer pérenne, qui perdure d'une saison à l'autre. Pourtant, les écrivains tels que Jules Verne ou Louis Bousсенard ainsi que les journalistes et vulgarisateurs du XIX^e siècle employaient à ce sujet le terme autrement plus joli de mer paléocrystique. Et de nombreux autres mots avaient fleuri à l'époque.

Dans sa préface du livre *Quinze mois dans l'Antarctique* (1901) du Belge Adrien de Gerlache de Gomery, le géographe Élisée Reclus écrit: « Les naturalistes de l'expédition ont étudié avec ardeur les divers phénomènes des neiges et des glaces, banquises, rondelles, flardes et dalles, bourguignons, toroses, masses tabulaires d'arrachement, blocs irréguliers. » On perd la trace de ces jolis mots évocateurs, un par un, au cours du XX^e siècle... ■



Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques

une collection complète d'instruments de travail pour la recherche en sciences humaines



Produire et échanger au Néolithique
Vincent Ard

393 pages
21 x 27 cm
br.
45 €

ISBN 978-2-7350-0810-0



Ethnographies plurielles
Sous la direction de Tiphaine Barthélemy, Philippe Combessie, Laurent Sébastien Fournier et Anne Monjaret

304 pages
17 x 22 cm
br.
26 €

ISBN 978-2-7350-0800-4

Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques • ventes@cths.fr • vente en librairie ou sur notre site : www.cths.fr • Distribution Sodis

Plongez dans un bain de science avec **POUR LA SCIENCE**



+ En CADEAU de bienvenue :

À la rencontre des Comètes, de Halley à Rosetta.

Par Thérèse Encrenaz et James Lequeux

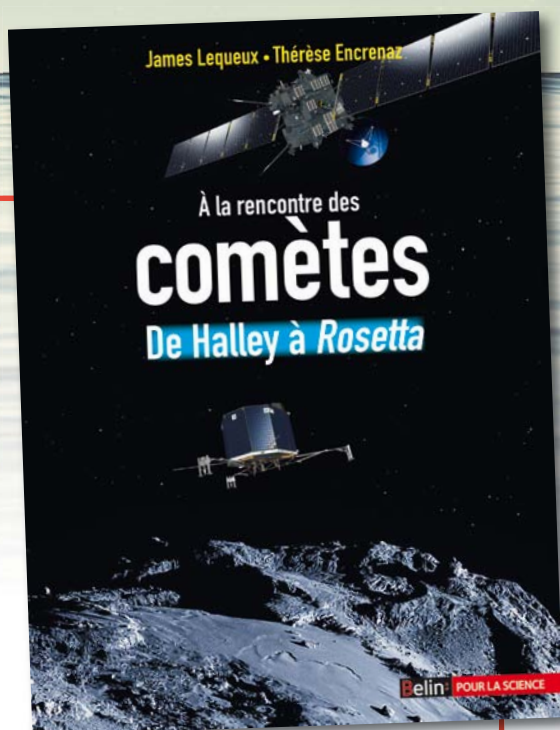
« En novembre 2014, la sonde européenne Rosetta s'est approchée d'une comète lointaine. La mission était à haut risque technologique : pour la première fois, un robot s'est posé à la surface d'un noyau cométaire. Tout comme la pierre de Rosette a aidé Champollion à décrypter les hiéroglyphes égyptiens, Rosetta, en dévoilant quelques mystères qui entourent encore les comètes, aidera les scientifiques à mieux comprendre l'histoire du Système solaire. Pourquoi leur apparition dans le ciel, interprétée comme un mauvais présage dans l'Antiquité, a-t-elle toujours un tel impact médiatique ? Comment les scientifiques ont-ils finalement découvert le secret de leur trajectoire ? Et que savons-nous de leur origine ? C'est à ces questions et bien d'autres que répond ce livre abondamment illustré. »

Éditions Belin - Paru le 23 mars 2015 - 144 pages - Prix unitaire : 22.90 €

Votre abonnement PASSION

6,50€ par mois seulement

le magazine
+ le hors-série chez vous
+ les versions numériques offertes
sur **www.pourlascience.fr**



OFFRE SPÉCIALE D'ABONNEMENT

POUR LA
SCIENCE

À découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe non affranchie à :
Groupe Pour la Science - Service Abonnements - Libre réponse 90 382 - 75 281 Paris cedex 06

1. MA FORMULE

- ☒ **OUI**, je m'abonne à l'offre « Passion » à 6,50€ par mois.
Je reçois le magazine *Pour la Science* (12 n°s/an)
+ son hors-série *Dossier Pour la Science* (4 n°s/an)
+ mon cadeau. Je bénéficie aussi des versions numériques
aux numéros reçus sur **www.pourlascience.fr**.



Mon e-mail obligatoire pour l'accès aux contenus numériques (à remplir en majuscules)

@
À réception de votre bulletin, comptez 5 semaines pour recevoir votre n° d'abonné. Passé ce délai, merci d'en faire la demande à abonnements@pourlascience.fr

2. MES COORDONNÉES

Nom : _____
Prénom : _____
Adresse : _____
Code postal : _____ Ville : _____
Pays : _____ Tél. : _____
Pour le suivi client (facultatif)

3. MON MODE DE RÈGLEMENT

- ☒ Je règle par prélèvement **6,50€ par mois** et reçois en cadeau
le livre *À la rencontre des comètes*. Je remplis l'autorisation ci-dessous
en joignant impérativement un IBAN/BIC.

*Pour la France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'Europe (pays de la zone SEPA) : 7,90€ par mois. Abonnement en reconduction tacite
dénonçable à tout moment auprès du service abonnement avec un préavis de 3 mois. Conditions complètes sur **www.pourlascience.fr**

AUTORISATION DE PRÉLÈVEMENT PAR MANDAT SEPA

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions
à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin.
Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier
prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

1 - COORDONNÉES DU TITULAIRE DU COMPTE

Nom, prénom _____
Adresse _____
Numéro et nom de la rue
Code postal _____ Ville _____ Pays _____

2 - COORDONNÉES BANCAIRES

IBAN _____
Numéro d'identification international du compte bancaire - IBAN (International Bank Account Number)

BIC _____
Code international d'identification de votre banque - BIC (Bank Identifier Code)

Type de paiement Paiement récurrent/répétitif

POUR LA
SCIENCE

3 - Date et signature obligatoires

À _____
Date _____
Signature : _____

NOM DU CRÉANCIER

Pour la Science - 8 rue Férou - 75006 Paris

ICS N° FR92ZZZ426900

N° de référence unique de mandat (RUM)

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

- ☐ Je préfère régler mon abonnement d'un an en **une seule fois 79€****
sans bénéficier du cadeau.

** Offre valable en France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 16€ - autres pays 35€.

- ☐ Par chèque à l'ordre de *Pour la Science*
☐ Par carte bancaire N° _____
Date d'expiration _____ Clé _____

Signature obligatoire

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande.
Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez
être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher cette case ☐.